

там исследований неоднородной структуры ионосферы в подобных условиях (связи явления  $F_{sp}$  с радиомерцаниями дискретных источников, измерениям ширины углового спектра отраженного сигнала и т. п.) [4].

Авторы благодарны Л. М. Ерухимову за внимание к работе, Н. А. Баковиной за помощь в обработке экспериментального материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. Д. Кокоуров, Н. А. Чернобровкина, сб. Результаты наблюдений в период МГСС, вып. 3, изд. Наука, М., 1967, стр. 58.
2. W. K. Klemperer, J. Geophys. Res., 68, 3191 (1963).
3. B. V. K. Rao, B. R. Rao, J. Geophys. Res., 68, 1923 (1963).
4. В. А. Алимов, Л. М. Ерухимов, Т. С. Пыркова, Геомagnetизм и аэрономия, 11, 790 (1971).
5. M. Nakagami, Statist. Methods in Radio Wave Propagation, Pergamon Press, 1960, p. 3.

Научно-исследовательский радиофизический институт

Поступила в редакцию  
17 декабря 1971 г.

УДК 621.375.8

## СПЕЦИАЛЬНЫЙ СЛУЧАЙ СВЧ КВАНТОВОГО УСИЛЕНИЯ В РУБИНЕ

Т. А. Смирнова, Н. Т. Чернак, Я. Л. Шамфаров

Рубин является наиболее широко применяемым активным материалом в квантовых парамагнитных усилителях (КПУ). Наиболее практичными в нем оказываются две ориентации статического магнитного поля по отношению к направлению кристаллографической оси:  $\theta = 54,74^\circ$  и  $\theta = 90^\circ$  [1].

При  $\theta = 54,74^\circ$  спектр зеемановских уровней  $\epsilon_l = \epsilon_l(H)$  является симметричным относительно магнитного поля  $H$ , что позволяет применять пушпульную схему, в которой частота накачки эффективно удваивается (рис. 1 а). В рубине эта схема используется для усиления электромагнитного излучения с длиной волны  $\lambda = 4 \div 0,8$  см. Однако при данной ориентации оказывается возможным также получение инверсии населенностей зеемановских уровней двух переходов, 1—2 и 3—4, с использованием накачки на частоте, совпадающей с частотой перехода 1—4 (рис. 1 б). Такая возможность была указана в работе [2].

В настоящей заметке сообщается, что в рубине экспериментально наблюдалась одновременная инверсия населенностей уровней 1—2 и 3—4 на длине волны  $\lambda_c \approx 4$  см. КПУ с одним активным резонатором при этом имел коэффициент усиления  $G = 20$  дБ с полосой  $\Delta f = 1,5$  МГц. Использовался резонатор с полным диэлектрическим заполнением. Длина волны накачки равнялась  $\lambda_n \approx 1,5$  см, магнитное поле —  $H = 1,7$  кэ. Интересной особенностью схемы является то, что частота накачки почти совпадает с соответствующей частотой для пушпульной схемы накачки в поле  $H = 3,4$  кэ (рис. 2). Частоты сигнала  $f_c$  при этом равны.

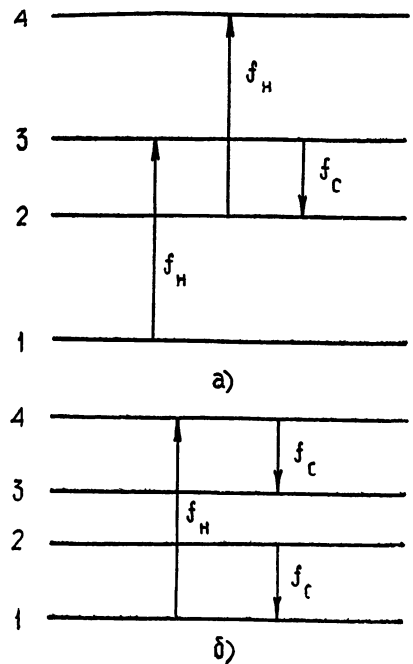


Рис. 1. а) Пушпульная схема накачки КПУ. б) Схема накачки на частоте  $f_n = f_{14}$ ;  $f_c = f_{12} = f_{34}$  — частота СВЧ сигнала.

Поскольку в данном случае инвертируются два перехода, то для вычисления магнитного декремента в линейном приближении  $hf/kT \ll 1$  нужно использовать следующую формулу:

$$d_m \approx 4,8 \cdot 10^{-29} \frac{f_c}{T} \frac{N}{n} \left( \frac{I_{12} \sigma_{12}^2}{\Delta\nu_{12}} + \frac{I_{34} \sigma_{34}^2}{\Delta\nu_{34}} \right),$$

где  $T$  — температура кристалла,  $N$  — концентрация парамагнитной примеси,  $n$  — число зеемановских уровней,  $I_{ij}$ ,  $\sigma_{ij}^2$ ,  $\Delta\nu_{ij}$  — коэффициент инверсии, квадрат максимального значения безразмерной вероятности индуцированного перехода и ширина линии, относящиеся к соответствующему спиновому переходу. Значения всех величин подставляются в формулу в системе СИ. Оценочное значение магнитного декремента равно  $d_m = 0,002$  при  $T = 4,2^\circ\text{К}$ . Концентрация ионов  $\text{Cr}^{3+}$  в рубине равнялась 0,035%.

В том же КПУ с пушпульной схемой накачки значение магнитного декремента равнялось  $d_m \approx 0,01$ . При этом коэффициент усиления равнялся  $G = 20 \text{ дБ}$  с полосой  $\Delta f$  до 5–7 МГц.

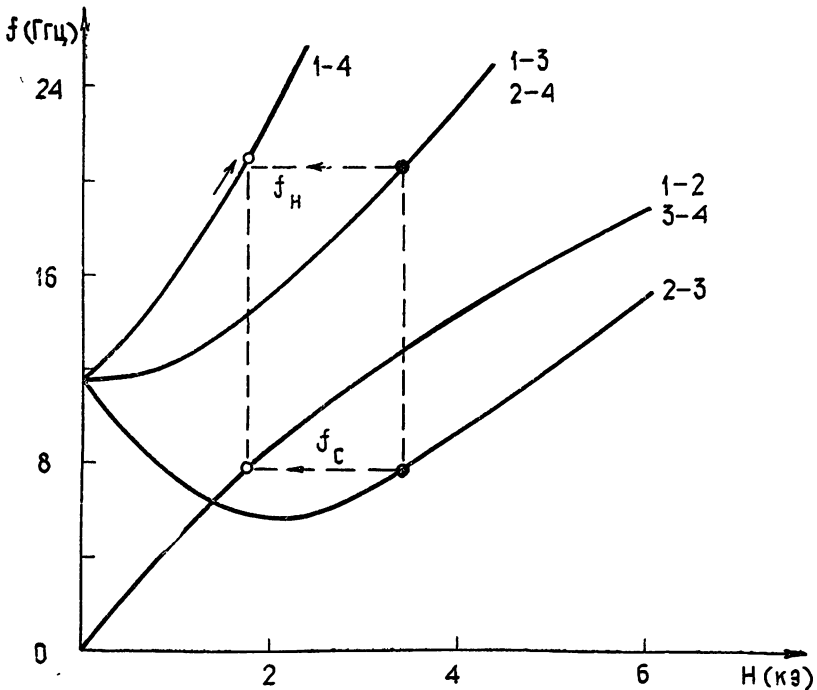


Рис. 2. Зависимость частот переходов между зеемановскими уровнями от величины статического магнитного поля  $H$  при  $\theta = 54,74^\circ$ . Цифрами обозначены переходы; ●●● — резонансные значения частот при пушпульной схеме накачки, ○○○ — то же при накачке на частоте  $f_{14}$ .

Таким образом, эффективность рассмотренной схемы накачки ниже по сравнению с пушпульной. Однако первая схема имеет то достоинство, что для нее требуется статическое магнитное поле, в два раза меньшее по сравнению со значением поля для пушпульной схемы накачки.

Это обстоятельство полезно иметь в виду при разработке КПУ, работающих в условиях, которые требуют максимального уменьшения габаритов всего устройства, в том числе и источника статического магнитного поля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Б. Штейншлейгер, Г. С. Мисежников, П. С. Лифанов, Квантовые усилители СВЧ (мазеры), изд. Сов. радио, М., 1971.
2. Н. В. Карлов, А. А. Маненков, Квантовые усилители, Институт научной информации АН СССР, Итоги науки, серия Физика, 1966.